

# 狭帯域バンドパスフィルタの成膜とその測定方法

(株) オプトクエスト 製造部 製造1課  
2024年9月25日

## 1. はじめに

特定の波長を選択し透過させるバンドパスフィルタは、通信用光ファイバデバイスなどに一般的に使用されているが、なかでも波長半値幅 0.5nm 以下のフィルタは波長選択性が高くなり、ラマン分光、蛍光顕微鏡、DNA 解析装置など通信用途以外でも多くの製品用途に利用されている。最近ではレーザトラップ用レーザ冷却用途の外部共振器レーザにもバンドパスフィルタが使用されるようになって来たが、使用するバンドパスフィルタは発光出力を高めるため半値幅が狭く、より低損失なフィルタが要求されている。

バンドパスフィルタは半値幅が狭くなると透過波長の面内分布などの影響で透過損失が増加する傾向にあることは知られているが、通信帯デバイスに用いられる場合は使用波長が長いこと、使用面サイズ（ビーム径）が 0.5mm 程度と範囲が狭いため（図1参照）、面内分布が大きな損失の要因とはならなかった。

一方、レーザモジュール（写真1参照）などに使用する場合は、使用波長が短波長となり、構造によってはフィルタの使用面サイズ（ビーム径）が 2mm 近くとなるため（図2参照）、通常の成膜方法では低損失で波長面内分布が少ないフィルタの成膜が困難であった。今回、短波長帯で低損失、半値幅 0.3nm 以下、有効面サイズ 2mm 以上で波長シフト誤差が 0.04nm 以

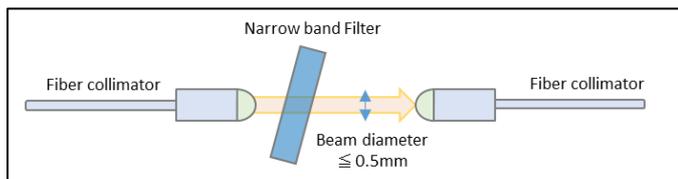


図1 通信用フィルタデバイス光学系イメージ図

下に収まるバンドパスフィルタの成膜に成功したので紹介する。

また、半値幅が狭いフィルタをより正確に評価する測定方法も合わせて紹介する。

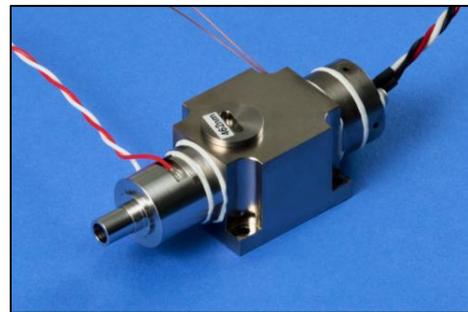


写真1 レーザモジュール外観

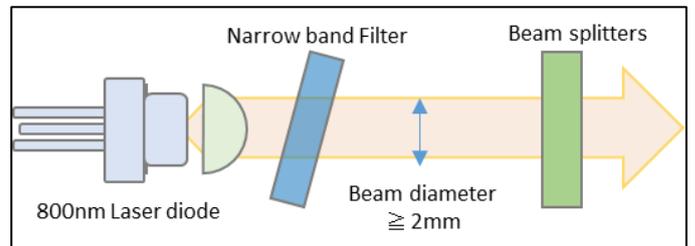


図2 レーザモジュール光学系イメージ図

## 2. 狭帯域バンドパスフィルタ

レーザモジュールに使用されるバンドパスフィルタには狭い半値幅と低損失を求められているが、図3に示す様に、ある特定の位置で透過率が良好であって

今回バンドパスフィルタに求められた性能

- ・ 中心波長ズレ  $\Delta \lambda = 0.08\text{nm}$  以下 Max-Min
- ・ 中心波長透過率=90%以上 (-0.5dB 以上)
- ・ 波長半値幅  $0.3\text{nm} + 0/-0.1$
- ・ 中心波長 810nm

も数ミリ離れた位置で波長シフトがおきると、大口径ビームでは波長分布の影響を受け、透過率と半値幅が大幅に低下してしまう。

特に共振器内を光が複数回往復するレーザモジュールの場合は、透過率が可能な限り高いことを要求されている。

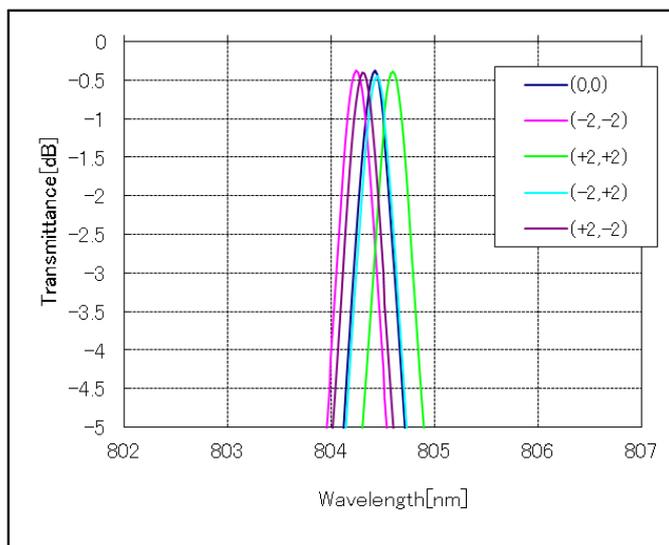


図3 従来の面分布のあるフィルタの光学特性

光学薄膜は、 $n d = \lambda / 4$  ( $n$  : 膜の屈折率、 $d$  : 物理的膜厚、 $\lambda$  : 使用中心波長) で表現され、バンドパスフィルタの膜設計には、ファブリペロー型と呼ばれるものが一般的に用いられる。まず、2種類の屈折率差がある材料を $\lambda / 4$  ずつ交互にミラー層を形成し、折り返しとなる層は、 $\lambda / 4$  の偶数倍の厚さにすることで、キャビティ層となる。キャビティ層を境に、前半部と対称となるように、同数のミラー層を形成する設計である。設計によっては基板側または、対媒質側に反射防止膜に当たる膜を数層加えることで、透過率を上げることもある。バンドパスフィルタの半値幅は、このミラー層の繰り返しと、キャビティ層の厚さで決まる。通信帯である 1550nm 付近での狭帯域バンドパスフィルタ ( $\leq 0.5\text{nm}$ ) の成膜は、確立されておりデバイスなどに組み込まれ利用されているが、波長帯域が短くなっていくと物理的膜厚である  $d$  値が小さくなるため、成膜材料一層ごとの膜厚精度が厳しく透過損失や波長誤差を招く要因となる。また当然のことではあるが、

透過率や面内分布だけでなく、偏光依存性や角度依存性も考慮した成膜方法が必要になる。これらの要求をクリアするために、膜設計だけでなく蒸着基板やその搭載方法などにも工夫して成膜する必要がある。

### 3. 成膜方法

成膜は、材料の付着強度や膜質を向上させるためにイオンアシスト付きの蒸着装置で行い、各層の膜厚制御については反射型モニタを使用した。通信帯用のバンドパスフィルタでは、専用の透過型モニタを使用しているが、モニタ波長が可視域帯には対応しておらず、今回は反射型モニタでの成膜となった。反射型モニタの場合、実際の成膜基板とは異なる間接モニタ制御となるため、成膜基板とモニタ基板の搭載位置の波長差を正確に掴みフィードバックさせる必要があった。

使用する基板にも注意を払う必要がある。今回、蒸着材料は  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  と  $\text{SiO}_2$  を使用し、膜層数としては 30 層程度の設計で行った。しかし、基板厚みによっては膜応力による透過ビームの品質低下が発生し、フィルタを使用したデバイス性能の劣化などを引き起こす。基板厚は使用用途にも関係し、一概に決める事はできないが、透過後のビーム品質を維持する厚みに設定する必要がある。

蒸着装置内に基板をセットするドームも面内分布の要因となる。ドームの湾曲に沿って基板をセットするが、基板は平行平面基板のため、わずかに蒸着源からの距離差が生じ、この距離差が波長分布の不均一を招くこともある。そのため、ドームに傾斜補正治具を用いて、セット角度を微調整し傾斜に均一性を持たせた。セット角度の最適値は蒸着装置のコンディションによるため、成膜と測定を繰り返し、最適角度を導き

#### 改善されたバンドパスフィルタの光学特性

- 中心波長ズレ  $\Delta \lambda = 0.04\text{nm/mm}$
- 中心波長透過率=95%以上 (-0.23dB)
- 波長半値幅 0.32nm
- 中心波長 804.5nm

出した。

実際に成膜した光学特性結果を図4、図5に示す。課題であった波長面内分布が抑えられ、透過率も良好な結果が得られている。

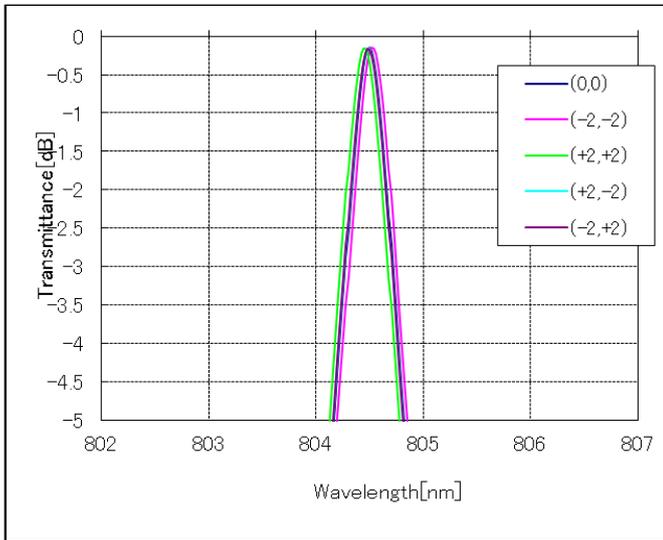


図4 面分布を改善したフィルタの光学特性

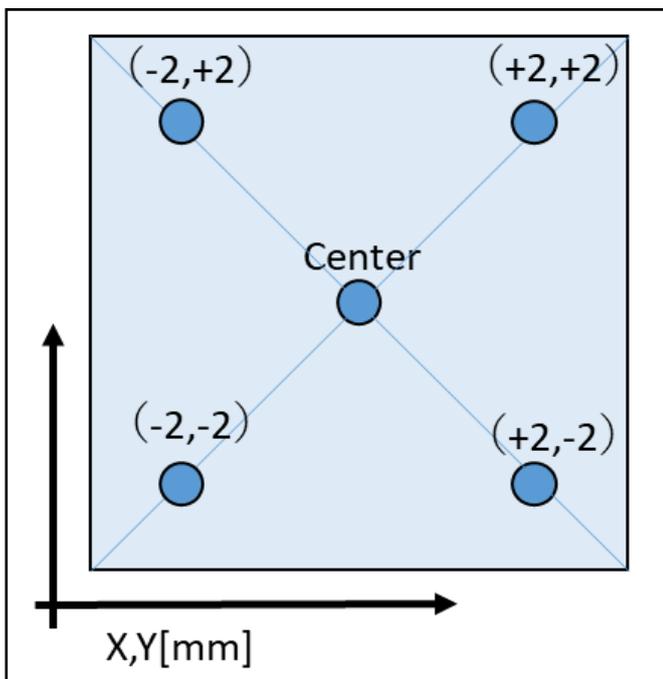


図5 フィルタ測定位置

#### 4. 測定方法

光学薄膜の波長特性評価には一般的に分光光度計が使用されているが、半値幅の狭いバンドパスフィル

タでは測定分解能が足りず、正確な損失測定を行う事ができない。そのため、今回の様なバンドパスフィルタや急峻なエッジフィルタなどを測定するには、光スペクトラムアナライザが適している。測定系は対象となるフィルタの帯域に合った広帯域光源と光ファイバコリメータを使用し、フィルタのセットには角度と位置調整ができるステージを用い、面内分布や角度依存性などの測定を行っている(図6参照)。光ファイバはシングルモードファイバを使用し、コリメータから出射されるビーム径は約0.5mmのものを採用している。これは一般的な光デバイスで使用するコリメータのビーム径とほぼ同じ径を用いる事で、測定時と実際にデバイスへ組み込まれた時の誤差を極力無くするためである。波長分布や角度依存性を測定する場合はフィルタが搭載されているステージを動かし各ポイントでの波長特性を測定する。今回は中心位置からフィルタを±2mm移動させ特性評価を行ったが、より正確な評価を求められる時はビーム径をデバイス仕様にあった物に組み換え測定を行うこともある。

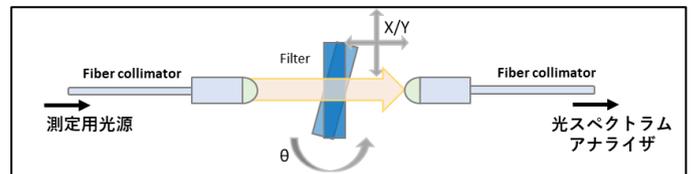


図6 フィルタ測定系

光スペクトラムアナライザの分解能は0.01nmであり、今回の半値幅0.3nmのフィルタを測定するには十分であるが、測定波長によっては安定した広帯域光源が存在せず、評価誤差が生じてしまう事がある。特に可視域に近い帯域全体をカバーする広帯域光源は存在せず、フィルタの測定が困難な波長帯が生じてしまう。今回の測定には白色光源を使用して測定を行ったが、光スペクトラムアナライザは分解能を高めるため、シングルモードファイバ受光となっており、受光される光量が大幅に低下し抑圧特性の測定は不可能であった。バンドパスフィルタの場合、透過率と半値幅が優先されるため評価結果には問題がなかったが、本来は抑圧を含めた正確な測定が望ましかった。

一方、今回のような測定ニーズに有効な広帯域光源として SC (スーパーコンティニウム) 光源の自社開



写真 2 製品化した SC 光源 (FLA-SC2100)

発を行い、2021 年 8 月に近赤外波長帯域の広帯域光源 (型式 FLA-SC2100、写真 2) の製品化に成功した。本光源はシングルモードファイバ出力で高出力・高安定で、広帯域ながらスペクトル平坦性 (図 7 参照) を実現した上、シード光源の改良により出力光量の時間安定性も実現した (図 8 参照)。本光源のような広帯域光源を使用することにより、多様な光波長帯域のフィルタ測定が可能である。

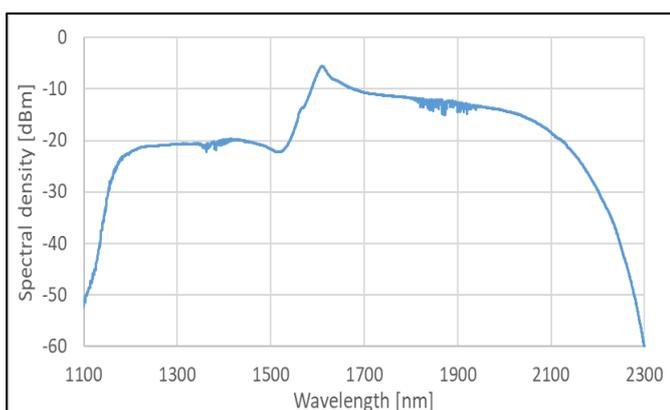


図 7 出力スペクトル

但し、本光源は波長帯域が  $1.15\mu\text{m}$  から  $2.1\mu\text{m}$  のため、今回のレーザモジュールに使用される光フィルタの測定には対応できなかったが、短波長帯の SC 光源の開発も進めており、可視光帯域の多様なフィルタの測定に期待している。

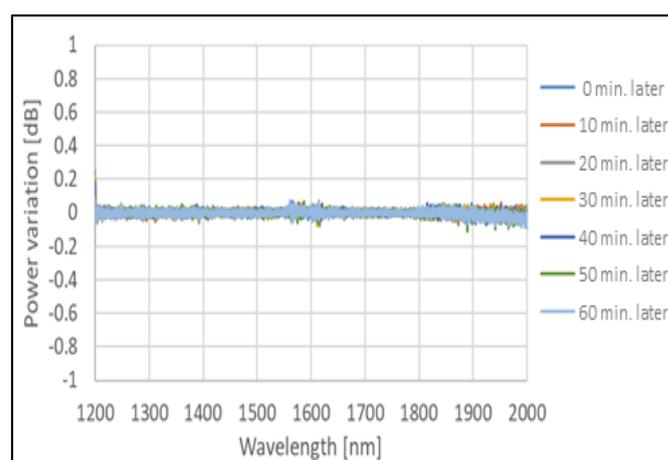


図 8 出力光量の時間変化

## 5. おわりに

面内分布の少ない狭帯域バンドパスフィルタの成膜とその測定方法について報告させて頂いた。今回は 800nm 帯でのバンドパスフィルタであったが、成膜は希望帯域に合わせて可視域から近赤外域までの幅広い波長域で可能である。特に可視域での測定は、それに見合った測定器が普及しておらず、フィルタの仕様によっては正確な評価が難しいのが現状であるが、当社独自の測定技術を用いることで、顧客要求にあった成膜と評価を提供することが可能である。今後はより安定した光源や短波長帯の光源の開発とともに紫外域での狭帯域フィルタなどの開発を進めて行く計画である。